Contents

FREQUÊNCIAS SONORAS **2**
Física, Percepção e Efeitos Biológicos em Humanos, Animais, Plantas e Fungos 2
PREFÁCIO 2
SUMÁRIO 3
INTRODUÇÃO GERAL 3

PARTE I — FUNDAMENTOS FÍSICOS DO SOM **5**
CAPÍTULO 1 — Natureza Física do Som 5
CAPÍTULO 2 — Geração, Propagação e Medição 9

PARTE II — SOM E SERES HUMANOS **10**
CAPÍTULO 3 — Anatomia e Fisiologia da Audição Humana 10
CAPÍTULO 4 — Efeitos Psicoacústicos Comprovados 12
CAPÍTULO 5 — Infrassom e Efeitos no Corpo Humano 13
CAPÍTULO 6 — Ultrassom e Aplicações em Humanos 14
CAPÍTULO 7 — Ruído, Poluição Sonora e Saúde Pública 15
CAPÍTULO 8 — Musicoterapia: Ciência e Evidências 16
CAPÍTULO 9 — O Fenômeno “432Hz vs 440Hz” e as Frequências Solfeggio . 17
CAPÍTULO 10 — Terapias Sonoras Alternativas: Análise Crítica 19
CAPÍTULO 11 — Guia Prático de Aplicação: Situação por Situação 21

PARTE III — SOM NO REINO ANIMAL **24**
CAPÍTULO 12 — Bioacústica: Fundamentos 24
CAPÍTULO 13 — Mamíferos 25
CAPÍTULO 14 — Aves 26
CAPÍTULO 15 — Répteis e Anfíbios 27
CAPÍTULO 16 — Peixes 27
CAPÍTULO 17 — Insetos e Invertebrados 28
CAPÍTULO 18 — Uso e Manejo de Som com Animais 29

PARTE IV — SOM NO REINO PLANTAE **30**
CAPÍTULO 19 — Plantas Têm “Audição”? O Que a Ciência Diz 30
CAPÍTULO 20 — Aplicações Agrícolas do Som 31

PARTE V — SOM EM FUNGOS, MICRO-ORGANISMOS E OUTROS REINOS **32**
CAPÍTULO 21 — Fungos e Vibração 32
CAPÍTULO 22 — Bactérias e Micro-organismos 33

PARTE VI — SÍNTESE, ÉTICA E FRONTEIRAS **33**
CAPÍTULO 23 — Comparando Reinos: Um Panorama Evolutivo da Sensibilidade ao Som 34
CAPÍTULO 24 — Como Avaliar Criticamente Alegações sobre “Frequências” . 35
CAPÍTULO 25 — Fronteiras da Pesquisa Atual 36

GLOSSÁRIO **37**

REFERÊNCIAS E LEITURAS RECOMENDADAS **38**

ÍNDICE REMISSIVO **39**

FREQUÊNCIAS SONORAS

Física, Percepção e Efeitos Biológicos em Humanos, Animais, Plantas e Fungos

Uma obra de referência completa sobre acústica, bioacústica e os limites entre ciência e mito

Edição 1 — 2026

PREFÁCIO

Poucos temas na divulgação científica popular são tão cercados de confusão quanto o das "frequências sonoras". De um lado, há décadas de ciência sólida — acústica, audiologia, bioacústica, neurociência da música — construída por milhares de pesquisadores, com métodos replicáveis e revisão por pares. De outro, há uma indústria inteira de afirmações sedutoras, quase sempre desacompanhadas de qualquer evidência: "a frequência de 528Hz repara o DNA", "432Hz está em harmonia com o universo", "esta frequência específica cura ansiedade". Essas duas correntes se misturam tanto no discurso popular que separá-las se tornou, paradoxalmente, uma tarefa quase acadêmica.

Esta obra nasce de uma convicção simples: **você não precisa escolher entre curiosidade e rigor**. É possível — e é o objetivo deste livro — explorar tudo o que existe de fascinante no mundo do som, da física da onda sonora ao canto das baleias, da audição humana à comunicação vibracional das abelhas, sem abrir mão, em nenhum momento, da pergunta mais importante que se pode fazer diante de qualquer afirmação: **isso foi demonstrado, ou apenas repetido?**

Por isso, sempre que esta obra tratar de alegações populares sobre frequências específicas — as chamadas frequências Solfeggio, o debate 432Hz vs. 440Hz, os "banhos de som", os batimentos binaurais — ela o fará de forma explícita e marcada, identificando claramente o que é **evidência científica revisada por pares** e o que é **crença, tradição ou marketing**. Isso não é feito para desmerecer quem encontra valor real nessas práticas — o efeito placebo é um efeito real, mensurável, e o bem-estar subjetivo importa — mas para que você, leitor, nunca seja enganado sobre *por que* algo funciona, quando funciona.

A quem se destina esta obra

Este livro serve tanto a quem busca entender a física e a biologia do som com profundidade acadêmica, quanto a quem busca, na prática, ferramentas sonoras reais para lidar com estados emocionais e situações do dia a dia — e quer saber, com honestidade, o que tem respaldo científico e o que não tem.

Como aproveitar esta obra ao máximo

Recomenda-se a leitura sequencial para quem busca domínio completo do tema, mas cada capítulo foi escrito para funcionar também como referência autônoma de consulta. O Capítulo 11 (Guia Prático de Aplicação) foi desenhado especificamente para consulta rápida por situação emocional, mas seu uso pleno depende da leitura prévia dos capítulos 1, 3 e 9-10, que fundamentam por que ele é estruturado como é.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL

PARTE I — FUNDAMENTOS FÍSICOS DO SOM - Capítulo 1 — Natureza Física do Som - Capítulo 2 — Geração, Propagação e Medição

PARTE II — SOM E SERES HUMANOS - Capítulo 3 — Anatomia e Fisiologia da Audição Humana - Capítulo 4 — Efeitos Psicoacústicos Comprovados - Capítulo 5 — Infrassom e Efeitos no Corpo Humano - Capítulo 6 — Ultrassom e Aplicações em Humanos - Capítulo 7 — Ruído, Poluição Sonora e Saúde Pública - Capítulo 8 — Musicoterapia: Ciência e Evidências - Capítulo 9 — O Fenômeno "432Hz vs 440Hz" e as Frequências Solfeggio - Capítulo 10 — Terapias Sonoras Alternativas: Análise Crítica - Capítulo 11 — Guia Prático de Aplicação: Situação por Situação

PARTE III — SOM NO REINO ANIMAL - Capítulo 12 — Bioacústica: Fundamentos - Capítulo 13 — Mamíferos - Capítulo 14 — Aves - Capítulo 15 — Répteis e Anfíbios - Capítulo 16 — Peixes - Capítulo 17 — Insetos e Invertebrados - Capítulo 18 — Uso e Manejo de Som com Animais

PARTE IV — SOM NO REINO PLANTAE - Capítulo 19 — Plantas Têm "Audição"? O Que a Ciência Diz - Capítulo 20 — Aplicações Agrícolas do Som

PARTE V — SOM EM FUNGOS, MICRO-ORGANISMOS E OUTROS REINOS - Capítulo 21 — Fungos e Vibração - Capítulo 22 — Bactérias e Micro-organismos

PARTE VI — SÍNTESE, ÉTICA E FRONTEIRAS - Capítulo 23 — Comparando Reinos: Um Panorama Evolutivo da Sensibilidade ao Som - Capítulo 24 — Como Avaliar Criticamente Alegações sobre "Frequências" - Capítulo 25 — Fronteiras da Pesquisa Atual

GLOSSÁRIO REFERÊNCIAS E LEITURAS RECOMENDADAS ÍNDICE REMISSIVO

INTRODUÇÃO GERAL

O que é som: uma perspectiva unificadora

Antes de qualquer capítulo especializado, é preciso estabelecer uma ideia central que atravessa toda esta obra: **som é vibração mecânica**, e nada mais místico do que isso. É a propagação de uma perturbação de pressão através de um meio material — ar, água, tecido biológico, madeira, terra — causada por algo que vibra. Um tambor

vibra e empurra o ar; o ar empurra o ar seguinte; essa onda de compressão e rarefação viaja até encontrar um receptor capaz de convertê-la em outra forma de energia — um tímpano, uma membrana celular, uma antena de inseto, uma raiz vegetal.

Essa definição, simples como é, já resolve uma boa parte da confusão popular sobre "frequências". Frequência é apenas o número de ciclos de compressão e rarefação por segundo, medido em Hertz (Hz). Não há nada inerentemente "espiritual", "curativo" ou "vibracionalmente superior" em um número de Hertz específico — o que existe são efeitos físicos e biológicos mensuráveis, que dependem de mecanismos concretos: ressonância mecânica, resposta neural, faixas de percepção específicas de cada espécie. Esta obra trata frequência com o respeito científico que ela merece — nem menos, tratando-a como fenômeno banal, nem mais, atribuindo-lhe poderes que a evidência não sustenta.

Por que frequência importa para todos os seres vivos

A vida na Terra evoluiu imersa em um oceano de vibração. Muito antes de haver ouvidos como os conhecemos, organismos unicelulares já respondiam a vibrações mecânicas do ambiente. A audição, em suas múltiplas formas — tímpanos, órgãos cordotonais de insetos, linhas laterais de peixes, mecanorreceptores vegetais — é uma das adaptações evolutivas mais recorrentes e mais diversificadas da história da vida, porque a informação vibracional é abundante, rápida e, em muitos meios, capaz de viajar longe demais para os outros sentidos alcançarem. Entender como cada grupo de seres vivos percebe e responde ao som é, portanto, também uma jornada pela própria história da evolução sensorial.

Panorama histórico: da acústica pitagórica à bioacústica moderna

A investigação sistemática do som é uma das mais antigas ciências da humanidade. Pitágoras, no século VI a.C., já explorava razões matemáticas entre comprimentos de corda vibrante e intervalos musicais consonantes — o nascimento simbólico da acústica como disciplina quantitativa. Séculos depois, a acústica ganhou rigor experimental com Galileu e Mersenne, que estabeleceram relações entre frequência e altura percebida. No século XIX, Hermann von Helmholtz uniu física, fisiologia e psicologia num só campo ao publicar *Die Lehre von den Tonempfindungen* (Sobre as Sensações Sonoras), lançando as bases da psicoacústica moderna.

A bioacústica — o estudo do som na vida animal e vegetal — é uma ciência mais jovem, consolidada apenas no século XX com o desenvolvimento de gravadores, hidrofones e espectrógrafos capazes de capturar e visualizar sons inacessíveis ao ouvido humano, como o infrassom dos elefantes e o ultrassom dos morcegos. Hoje, a bioacústica é um campo interdisciplinar vibrante, essencial tanto para a biologia evolutiva quanto para a conservação ambiental.

Paralelamente a essa tradição científica rigorosa, o século XX também viu nascer — e o século XXI viu se multiplicar exponencialmente pela internet — um conjunto de crenças populares sobre "frequências de cura" sem base experimental sólida. Esta obra dedica atenção séria a ambas as tradições: não porque sejam equivalentes em validade científica, mas porque ambas fazem parte da cultura viva em torno do som,

e compreender a diferença entre elas é, em si, uma habilidade de pensamento crítico essencial.

Mapa da obra

A Parte I estabelece os fundamentos físicos indispensáveis para tudo o que segue. A Parte II é a mais extensa, dedicada inteiramente ao ser humano — da anatomia do ouvido às aplicações práticas do Capítulo 11. As Partes III, IV e V exploram, respectivamente, o reino animal, o reino vegetal e os fungos/micro-organismos, sempre com o mesmo padrão de rigor: o que é ciência estabelecida, o que é pesquisa emergente e o que é especulação popular. A Parte VI encerra a obra com uma síntese comparativa entre reinos e ferramentas de pensamento crítico que o acompanharão muito além deste livro.

PARTE I — FUNDAMENTOS FÍSICOS DO SOM

CAPÍTULO 1 — Natureza Física do Som

1.1 Som como onda mecânica longitudinal

O som é uma onda mecânica **longitudinal**: as partículas do meio (moléculas de ar, de água, de um sólido) oscilam na mesma direção em que a onda se propaga, alternando entre zonas de compressão (partículas mais próximas, pressão mais alta) e zonas de rarefação (partículas mais afastadas, pressão mais baixa). Isso contrasta com ondas transversais, como as ondas na superfície da água ou as ondas eletromagnéticas de luz, em que a oscilação ocorre perpendicularmente à direção de propagação.

Um jeito útil de visualizar isso: imagine uma mola (slinky) esticada no chão. Se você empurrar uma das pontas rapidamente e soltar, um pulso de compressão viaja ao longo da mola — os anéis não se movem na direção transversal, eles se comprimem e se espalham na mesma direção em que o pulso viaja. É exatamente assim que uma onda sonora se propaga através do ar: cada molécula empurra a vizinha, sem que nenhuma molécula individual viaje grandes distâncias — apenas a *perturbação* viaja.

Requisito fundamental: som precisa de um meio material para se propagar. Ao contrário da luz, que se propaga no vácuo, o som não existe no vácuo — não há partículas para transmitir a vibração. Essa é a razão física por trás do silêncio absoluto do espaço sideral, popularizado (com licença poética) por filmes de ficção científica.

1.2 Frequência, amplitude, timbre e fase

Quatro grandezas descrevem completamente uma onda sonora simples:

- **Frequência (f)**: número de ciclos completos de compressão-rarefação por segundo, medida em Hertz (Hz). É a grandeza física que corresponde à percepção

subjetiva de **altura** (pitch) — sons de frequência mais alta são percebidos como "agudos"; frequência mais baixa, como "graves".
- **Amplitude**: a magnitude da variação de pressão em relação à pressão ambiente. Corresponde à percepção subjetiva de **volume** ou intensidade sonora.
- **Timbre**: a "cor" ou "textura" característica de um som, determinada pela composição harmônica — a mistura específica de frequências sobrepostas (frequência fundamental + harmônicos) que faz um violino soar diferente de uma flauta tocando a mesma nota.
- **Fase**: a posição relativa de uma onda em seu ciclo em um dado instante, crucial para fenômenos de interferência (ver seção 1.7).

Tabela 1.1 — Grandezas físicas e correlatos perceptivos

Grandeza física	Unidade	Correlato perceptivo
Frequência	Hertz (Hz)	Altura (grave/agudo)
Amplitude	Pascal (Pa) / decibel (dB)	Volume/intensidade
Composição harmônica	—	Timbre
Duração	segundos	Duração percebida

1.3 O espectro sonoro: infrassom, audível, ultrassom

O espectro de frequências sonoras é convencionalmente dividido em três grandes faixas:

- **Infrassom**: frequências abaixo de 20 Hz, geralmente inaudíveis para humanos, mas perceptíveis por diversas outras espécies (elefantes, baleias, alguns répteis) e, em intensidades altas, sentidas pelo corpo humano como vibração.
- **Som audível**: aproximadamente 20 Hz a 20.000 Hz (20 kHz) em humanos jovens saudáveis — faixa que se estreita com a idade, especialmente nas frequências mais altas (presbiacusia).
- **Ultrassom**: frequências acima de 20 kHz, inaudíveis para humanos, mas centrais na percepção e comunicação de morcegos, golfinhos, e diversos insetos, além de amplamente utilizado em aplicações médicas e industriais.

É importante notar que essa divisão é **antropocêntrica** — definida em relação à audição humana. Um morcego, cuja faixa de audição se estende rotineiramente até 100-200 kHz, não teria motivo algum para tratar "ultrassom" como uma categoria especial; para ele, é simplesmente parte do som audível cotidiano. Esta obra retornará a esse ponto repetidamente: cada espécie tem sua própria "janela" de percepção sonora, moldada por sua história evolutiva e suas necessidades ecológicas.

1.4 Velocidade do som em diferentes meios

A velocidade de propagação do som depende das propriedades elásticas e da densidade do meio — não da frequência ou amplitude da onda. Meios mais rígidos (com maior módulo de elasticidade) transmitem o som mais rapidamente, porque as partículas transferem a perturbação umas às outras com mais eficiência.

Tabela 1.2 — Velocidade do som em diferentes meios (aproximada, a 20°C quando aplicável)

Meio	Velocidade aproximada
Ar (20°C)	343 m/s
Água (doce, 20°C)	1.480 m/s
Água do mar	~1.500 m/s
Tecido muscular humano	~1.540 m/s
Osso humano	~3.500 m/s
Madeira	~3.300-4.000 m/s (varia por espécie)
Aço	~5.900 m/s

Esse dado é biologicamente relevante: cetáceos e peixes vivem em um meio (água) onde o som viaja mais de quatro vezes mais rápido que no ar, o que molda profundamente a evolução de seus sistemas de comunicação e de seus órgãos sensoriais — tema que será retomado no Capítulo 13 (Mamíferos) e Capítulo 15 (Peixes).

1.5 Decibéis: como medimos intensidade

A intensidade sonora é medida em decibéis (dB), uma escala **logarítmica**, não linear. Isso significa que um aumento de 10 dB corresponde a um aumento de dez vezes na intensidade física do som (potência sonora), embora seja percebido subjetivamente como aproximadamente o dobro do volume. A escala logarítmica foi adotada porque a faixa de intensidades sonoras que o ouvido humano processa é imensa — da ordem de um trilhão de vezes entre o limiar de audição e o limiar de dor — e uma escala linear seria impraticável.

Tabela 1.3 — Referências de intensidade sonora em decibéis

Fonte sonora	Intensidade aproximada (dB)
Limiar de audição humana	0 dB
Respiração tranquila	10 dB
Sussurro	20-30 dB
Conversa normal	60-65 dB
Tráfego urbano intenso	80-85 dB
Show de rock / fone no volume máximo	105-110 dB
Limiar de dor	~130 dB
Decolagem de avião a jato (próximo)	140-150 dB

A escala dB usada para audição humana (dB SPL, sound pressure level) é ponderada, frequentemente, por curvas como a dB(A), que ajustam a medição para refletir a sensibilidade não-linear do ouvido humano a diferentes frequências — o ouvido não é igualmente sensível a todas as frequências, um ponto retomado no Capítulo 3.

1.6 Ressonância e frequência natural dos objetos

Todo objeto físico com elasticidade possui uma ou mais **frequências naturais de vibração** — frequências nas quais ele "prefere" vibrar quando perturbado, exigindo o mínimo de energia para sustentar uma grande amplitude de oscilação. Quando uma fonte externa aplica energia numa frequência próxima à frequência natural de um objeto, ocorre **ressonância**: a amplitude da vibração do objeto cresce dramaticamente.

O exemplo mais citado — e frequentemente mal compreendido — é o colapso da ponte de Tacoma Narrows (1940), com frequência erroneamente atribuída a "ressonância sonora simples"; na realidade, o fenômeno envolveu um mecanismo aeroelástico mais complexo (flutter induzido pelo vento), não uma simples ressonância acústica. Um exemplo mais correto e clássico de ressonância acústica pura é uma taça de cristal que se estilhaça ao ser exposta a um som de intensidade suficiente na frequência exata de sua vibração natural.

A ressonância é central para compreender por que certas estruturas do corpo humano (a caixa torácica, os seios da face, o próprio ouvido) respondem de forma diferenciada a certas frequências — tema retomado nos Capítulos 5 e 6.

1.7 Interferência, batimento e ondas estacionárias

Quando duas ou mais ondas sonoras se sobrepõem no mesmo espaço, elas interferem entre si, somando ou subtraindo suas amplitudes ponto a ponto, de acordo com a fase relativa entre elas — fenômeno conhecido como **interferência construtiva** (quando as ondas estão em fase, reforçando-se) ou **interferência destrutiva** (quando estão fora de fase, cancelando-se parcial ou totalmente). Esse princípio é a base de tecnologias como fones de cancelamento de ruído.

Quando duas ondas sonoras de frequências muito próximas (mas não idênticas) se sobrepõem, o ouvido percebe um fenômeno chamado **batimento (beating)**: um padrão de volume que oscila periodicamente, com frequência igual à diferença entre as duas frequências originais. Esse fenômeno é fisicamente real e mensurável, e é a base física legítima por trás do conceito de "batimentos binaurais" (binaural beats) — tema que será tratado com rigor crítico no Capítulo 10, distinguindo o que é fisicamente comprovado do que é alegado sobre seus efeitos.

Ondas estacionárias ocorrem quando ondas de mesma frequência viajam em direções opostas em um espaço confinado (como o tubo de um instrumento de sopro ou uma sala fechada), criando pontos fixos de amplitude máxima (antinós) e mínima (nós). Esse fenômeno explica tanto o funcionamento de instrumentos musicais quanto problemas práticos de acústica arquitetônica, como "zonas mortas" em salas de concerto.

CAPÍTULO 2 — Geração, Propagação e Medição

2.1 Fontes sonoras naturais e artificiais

Toda fonte sonora compartilha um princípio comum: um objeto ou meio vibrando transfere energia mecânica ao meio circundante. As fontes naturais incluem cordas vocais (produção de voz e vocalização animal), membranas (tímpanos de instrumentos, tambores naturais como troncos ocos usados por primatas), superfícies rígidas em atrito ou impacto (estridulação de insetos, quebra de galhos), e fenômenos geofísicos (trovão, movimento de placas tectônicas, ondas oceânicas). Fontes artificiais incluem alto-falantes (que convertem sinal elétrico em vibração mecânica de um diafragma), instrumentos musicais e uma vasta gama de máquinas industriais.

2.2 Propagação em diferentes meios e obstáculos

À medida que uma onda sonora se propaga, sua intensidade diminui com a distância — em campo livre (sem obstáculos), a intensidade sonora decai com o quadrado da distância da fonte (lei do inverso do quadrado), o que corresponde a uma queda de aproximadamente 6 dB a cada duplicação da distância. Fatores adicionais — absorção atmosférica, umidade, temperatura, vento e a presença de obstáculos — modificam esse padrão simples em ambientes reais.

2.3 Absorção, reflexão e difração

Quando uma onda sonora encontra um obstáculo ou uma mudança de meio, três fenômenos podem ocorrer, frequentemente em combinação: **absorção** (parte da energia sonora é convertida em calor pelo material, reduzindo a energia sonora refletida — princípio por trás de materiais acústicos como espuma e cortiça), **reflexão** (a onda "quica" de volta, base do eco e da reverberação em espaços fechados) e **difração** (a onda contorna obstáculos e se espalha através de aberturas, sendo mais pronunciada quando o comprimento de onda é comparável ou maior que o obstáculo — por isso sons graves "contornam" esquinas com mais facilidade que sons agudos).

2.4 Instrumentos de medição

A ciência acústica moderna depende de instrumentação especializada:

- **Microfones e hidrofones**: transdutores que convertem pressão sonora em sinal elétrico — hidrofones são versões adaptadas para uso subaquático, essenciais para o estudo da comunicação de cetáceos e peixes.
- **Osciloscópios**: exibem a forma de onda sonora em função do tempo.
- **Espectrógrafos (sonogramas)**: decompõem um som em suas frequências componentes ao longo do tempo, sendo a ferramenta central da bioacústica moderna para visualizar e comparar vocalizações animais.
- **Decibelímetros (sonômetros)**: medem intensidade sonora, frequentemente com ponderação de frequência (dB(A), dB(C)) para refletir diferentes contextos de medição.
- **Acelerômetros**: medem vibração mecânica diretamente em superfícies sólidas, essenciais no estudo da comunicação vibracional (substrate-borne) de insetos e

plantas.

2.5 Como cientistas registram sons de outras espécies

O estudo do som fora da faixa de audição humana — infrassom de elefantes, ultrassom de morcegos, vibrações substrato-transmitidas de insetos — exige equipamento especializado capaz de captar frequências e amplitudes que o ouvido humano simplesmente não processa. Gravadores de infrassom de campo (usados, por exemplo, no Elephant Listening Project, no Congo) captam frequências abaixo de 20 Hz com microfones de baixa frequência dedicados; detectores de morcego (bat detectors) convertem ultrassom em frequências audíveis através de técnicas de heteródino ou expansão de tempo; e laser doppler vibrometers medem vibrações substrato-transmitidas sem contato físico, essenciais para estudar a comunicação sísmica de insetos e a mecanorrecepção vegetal, temas explorados nos Capítulos 16 e 19.

PARTE II — SOM E SERES HUMANOS

CAPÍTULO 3 — Anatomia e Fisiologia da Audição Humana

3.1 Ouvido externo, médio e interno

O sistema auditivo humano se organiza em três seções anatômicas funcionalmente distintas:

Ouvido externo: composto pelo pavilhão auricular (orelha visível) e pelo canal auditivo. O pavilhão auricular tem forma que auxilia na localização direcional do som e na leve amplificação de certas frequências; o canal auditivo, por sua geometria de tubo semifechado, amplifica naturalmente frequências entre aproximadamente 2.000 e 5.500 Hz — faixa que, não coincidentemente, corresponde à região de maior sensibilidade da audição humana e à faixa mais importante para a inteligibilidade da fala.

Ouvido médio: uma cavidade preenchida de ar contendo a membrana timpânica e a cadeia de três ossículos — martelo, bigorna e estribo — os menores ossos do corpo humano. Sua função central é a **adaptação de impedância**: converter a vibração de baixa impedância mecânica do ar em vibração de alta impedância do fluido do ouvido interno, evitando a perda de energia que ocorreria numa transição direta ar-líquido (o mesmo motivo pelo qual falar debaixo d'água soa abafado para quem ouve fora dela).

Ouvido interno: contém a cóclea, órgão em forma de espiral preenchido por fluido, responsável pela transdução mecanoelétrica — a conversão final de vibração mecânica em sinal elétrico neural.

3.2 A cóclea e a transdução mecanoelétrica

Dentro da cóclea encontra-se o **órgão de Corti**, estrutura que abriga as células ciliadas (hair cells), os verdadeiros transdutores sensoriais da audição. A membrana

basilar, ao longo da qual essas células estão dispostas, apresenta uma propriedade física notável conhecida como **tonotopia**: sua rigidez e largura variam progressivamente ao longo do seu comprimento, fazendo com que diferentes regiões vibrem preferencialmente em resposta a diferentes frequências — a base da cóclea (próxima ao ouvido médio) responde a frequências agudas, enquanto o ápice responde a frequências graves. Esse mapeamento espacial de frequência é preservado ao longo de toda a via auditiva, do nervo coclear ao córtex auditivo — princípio fundamental para compreender como o cérebro discrimina altura sonora.

Quando a membrana basilar vibra, os estereocílios das células ciliadas se dobram, abrindo canais iônicos mecanicamente sensíveis, o que despolariza a célula e libera neurotransmissores, gerando um potencial de ação no nervo auditivo — o sinal elétrico que, finalmente, o cérebro interpretará como som.

3.3 Faixa de audição humana (20Hz–20kHz) e sua variação com a idade

A faixa comumente citada de 20 Hz a 20.000 Hz representa o limite teórico de um jovem adulto saudável, mas essa faixa não é estática nem uniforme:

- A sensibilidade auditiva não é igual em toda a faixa — o ouvido humano é mais sensível entre 2.000 e 5.000 Hz, e progressivamente menos sensível nos extremos grave e agudo do espectro (fenômeno descrito pelas curvas isofônicas de Fletcher-Munson).
- A capacidade de perceber frequências agudas declina de forma previsível com a idade — fenômeno chamado **presbiacusia** — de modo que muitos adultos acima de 50 anos não conseguem mais perceber sons acima de 12-15 kHz, embora sua percepção de frequências médias e graves permaneça relativamente preservada.
- Crianças pequenas frequentemente percebem frequências levemente acima de 20 kHz, uma capacidade que se reduz ao longo da infância e adolescência.

3.4 Vias auditivas centrais e processamento no cérebro

O sinal elétrico gerado na cóclea viaja pelo nervo auditivo (VIII par craniano) até o tronco encefálico, passando por múltiplos núcleos de processamento (núcleo coclear, complexo olivar superior — responsável, entre outras funções, pela localização espacial do som através da comparação de tempo e intensidade entre os dois ouvidos —, colículo inferior, e finalmente o córtex auditivo primário, localizado no lobo temporal). Esse processamento hierárquico permite não apenas a detecção de frequência e intensidade, mas também tarefas complexas como reconhecimento de fala em ambientes ruidosos, localização espacial precisa e integração emocional do som, que envolve conexões diretas entre o córtex auditivo e estruturas límbicas como a amígdala — a base neuroanatômica real (e comprovada) da ligação entre som/música e emoção, retomada no próximo capítulo.

CAPÍTULO 4 — Efeitos Psicoacústicos Comprovados

4.1 Percepção de altura, timbre e localização sonora

A psicoacústica estuda como estímulos físicos do som se traduzem em experiência subjetiva. Três de seus achados centrais merecem destaque: primeiro, a percepção de altura (pitch) não é uma simples leitura linear da frequência física — envolve processamento complexo que permite, por exemplo, a percepção da "fundamental ausente" (quando o cérebro reconstrói a altura de uma nota mesmo que sua frequência fundamental tenha sido fisicamente removida do sinal, com base apenas em seus harmônicos). Segundo, a localização espacial do som depende primariamente de diferenças interaurais de tempo (ITD) e de intensidade (ILD) entre os dois ouvidos, processadas no complexo olivar superior. Terceiro, o reconhecimento de timbre permite identificar instrumentos e vozes específicas mesmo em ambientes acusticamente complexos — uma capacidade computacionalmente notável que sistemas de inteligência artificial ainda replicam com dificuldade em certos contextos.

4.2 Frequências e emoção: o que a neurociência realmente mostra

Este é talvez o ponto mais importante deste capítulo, e o fundamento de tudo o que será dito no Capítulo 9 sobre alegações populares. A neurociência estabeleceu, com bom nível de evidência, que **música e som afetam estados emocionais** — ativando o sistema de recompensa (núcleo accumbens, área tegmental ventral) através da liberação de dopamina, modulando os níveis de cortisol (hormônio do estresse) e engajando a amígdala e outras estruturas límbicas ligadas ao processamento emocional.

O que a evidência **não estabelece** é que uma frequência isolada específica (um único valor de Hz, como "396" ou "852") produza, por si só, um estado emocional específico e previsível. Os efeitos emocionais documentados da música dependem de um conjunto muito mais rico e complexo de fatores: andamento (tempo, medido em BPM), modo (maior/menor), estrutura harmônica, timbre, dinâmica, letra, contexto cultural e — de forma crucial — associação pessoal e memória autobiográfica. Uma música específica pode evocar tristeza profunda em uma pessoa simplesmente porque estava tocando em um momento de perda pessoal — efeito que nada tem a ver com a frequência fundamental da nota tocada, e tudo a ver com memória episódica.

Essa distinção — entre "o som/música em geral afeta emoção" (comprovado) e "uma frequência isolada específica tem um efeito emocional universal e previsível" (não comprovado) — é a linha central que separa os Capítulos 4, 7 e 8 (ciência estabelecida) do Capítulo 9 (crenças populares).

4.3 Música, dopamina e sistemas de recompensa

Estudos de neuroimagem (destacando-se o trabalho do laboratório de Robert Zatorre, na Universidade McGill) demonstraram que picos de prazer musical — os chamados "arrepios" ou frisson — correlacionam-se com liberação de dopamina em regiões de recompensa do cérebro, de forma comparável, em termos de circuito neural, a outras recompensas biológicas primárias como comida e sexo. Esse efeito depende fortemente de expectativa e da forma como uma peça musical cria e resolve (ou subverte)

tensão harmônica ao longo do tempo — um fenômeno de processamento temporal complexo, não redutível a uma única frequência isolada.

4.4 Ritmo cardíaco, respiração e entrainment fisiológico

Um fenômeno psicofisiológico bem documentado é o **entrainment** (sincronização): a tendência de ritmos fisiológicos internos (frequência cardíaca, ritmo respiratório) se ajustarem, ainda que parcialmente, ao ritmo de um estímulo externo periódico, incluindo música. Músicas com andamento mais lento (tipicamente abaixo de 60-80 BPM) tendem a se associar a reduções mensuráveis na frequência cardíaca e na pressão arterial, enquanto andamentos rápidos tendem ao efeito oposto. Esse mecanismo — baseado em ritmo (BPM), não em frequência tonal (Hz) — é frequentemente confundido na cultura popular com as alegações sobre "frequências de cura", mas é um fenômeno fisiologicamente distinto e com respaldo experimental muito mais robusto.

4.5 Sono e som: ruído branco, rosa e marrom — o que funciona e por quê

Os chamados "ruídos coloridos" são definidos por sua distribuição de energia através do espectro de frequências, não por uma frequência única:

- **Ruído branco**: energia igual em todas as frequências audíveis — soa como um "chiado" uniforme (semelhante à estática de TV analógica).
- **Ruído rosa**: energia decresce com o aumento da frequência (potência igual por oitava), soando mais "grave" e suave que o ruído branco — assemelha-se a uma chuva constante ou ao som de folhagem ao vento.
- **Ruído marrom (ou vermelho)**: decaimento ainda mais acentuado em frequências agudas, resultando em um som mais grave e profundo, como uma cachoeira distante ou trovão contínuo.

Estudos controlados mostram que esses ruídos podem auxiliar o sono e a concentração principalmente por dois mecanismos comprovados: **mascaramento sonoro** (encobrindo ruídos ambientais intermitentes e imprevisíveis, que são os principais responsáveis por despertares durante o sono) e, em menor grau e com evidência ainda em desenvolvimento, possível modulação de atividade oscilatória cerebral durante o sono profundo. É importante notar que a evidência para ruído rosa como potencializador da memória durante o sono é promissora, mas ainda preliminar e não deve ser superestimada.

CAPÍTULO 5 — Infrassom e Efeitos no Corpo Humano

5.1 O que é infrassom e onde ocorre naturalmente

Infrassom refere-se a frequências sonoras abaixo de 20 Hz — abaixo do limiar convencional de audição humana consciente, embora intensidades suficientemente altas possam ser percebidas de outras formas, como será detalhado a seguir. O infrassom ocorre amplamente na natureza: em erupções vulcânicas, terremotos, ondas oceânicas de grande escala (microbaroms), tempestades severas e trovões distantes, além de

ser produzido por diversos animais (elefantes, baleias, alguns felinos grandes) como forma de comunicação de longa distância, tema retomado no Capítulo 13.

5.2 Efeitos fisiológicos documentados

Em intensidades suficientemente elevadas, o infrassom pode ser percebido não pelo sistema auditivo convencional, mas por **mecanorrecepção tátil e vibração de estruturas corporais** — a caixa torácica, os órgãos internos e até os olhos podem vibrar sensivelmente em resposta a infrassom intenso, gerando sensações de pressão, desconforto físico, e, em alguns estudos, relatos subjetivos de ansiedade ou mal-estar inespecífico. Esses efeitos são mais consistentemente documentados em ambientes ocupacionais com exposição a infrassom industrial (grandes ventiladores, compressores, turbinas eólicas em determinadas condições) do que em contextos experimentais controlados de curta duração.

5.3 O mito do "medo infrassônico" — o que a evidência sustenta e o que é exagero midiático

Popularizou-se, especialmente após um estudo amplamente citado na imprensa (Tandy & Lawrence, 1998, sobre uma suposta "sala assombrada"), a ideia de que o infrassom em torno de 19 Hz causaria sistematicamente sensações de "presença fantasmagórica" ao entrar em ressonância com o globo ocular humano, produzindo distorções visuais periféricas. Essa hipótese específica, embora fisicamente engenhosa, **não foi replicada de forma robusta** em estudos posteriores mais controlados, e a frequência de ressonância ocular real proposta é objeto de debate entre pesquisadores. O que se pode afirmar com mais segurança, de forma mais geral e menos sensacionalista, é que infrassom de alta intensidade pode gerar desconforto físico inespecífico e, em alguns contextos, elevação de ansiedade — mas a narrativa popular de uma "frequência do medo" precisa e universal (frequentemente citada como exatamente "19 Hz") carece do respaldo experimental robusto que a viralização da ideia sugere.

5.4 Infrassom industrial e saúde ocupacional

Órgãos de saúde ocupacional em diversos países reconhecem o infrassom industrial como um fator de risco relevante em ambientes de trabalho específicos (proximidade a grandes turbinas, compressores industriais, certas aeronaves), associando exposição crônica a queixas de fadiga, cefaleia e desconforto, ainda que a quantificação precisa de limites seguros de exposição a infrassom permaneça uma área ativa de pesquisa e regulamentação, menos padronizada globalmente do que os limites para ruído audível convencional.

CAPÍTULO 6 — Ultrassom e Aplicações em Humanos

6.1 Ultrassonografia diagnóstica

O ultrassom médico diagnóstico utiliza tipicamente frequências entre 2 e 18 MHz — muito acima dos 20 kHz que definem o limite superior da audição humana, e ainda

mais acima das frequências discutidas em contextos de “cura vibracional” popular, que quase sempre se referem a frequências audíveis (na casa das centenas de Hz). O princípio físico é o do eco: um transdutor emite pulsos de ultrassom que se refletem de forma diferenciada nas interfaces entre tecidos de diferentes densidades, e o tempo e a intensidade do eco retornado são processados para gerar uma imagem em tempo real. É uma tecnologia de segurança bem estabelecida, sem evidência de efeito biológico adverso nas intensidades diagnósticas padronizadas.

6.2 Ultrassom terapêutico e cirúrgico

Existem aplicações médicas legítimas de ultrassom de maior intensidade com finalidade terapêutica direta, distintas da imagem diagnóstica:

- **Ultrassom focalizado de alta intensidade (HIFU)**: concentra energia ultrassônica em um ponto focal preciso, gerando calor suficiente para destruir tecido-alvo — usado no tratamento de certos tumores e miomas uterinos.
- **Litotripsia extracorpórea por ondas de choque**: utiliza ondas acústicas de alta energia para fragmentar cálculos renais, permitindo sua eliminação natural sem cirurgia invasiva.
- **Ultrassom terapêutico em fisioterapia**: usado, com evidência de eficácia mista e debatida na literatura mais recente, para promover aquecimento tecidual profundo e possivelmente acelerar certos processos de reparo tecidual — uma aplicação onde o consenso científico é mais modesto que nas duas anteriores.

6.3 Limites de exposição segura

A exposição a ultrassom em intensidades diagnósticas e terapêuticas controladas é regulamentada por órgãos de saúde e engenharia biomédica, com margens de segurança estabelecidas através de décadas de pesquisa clínica — em nítido contraste com a ausência quase total de regulamentação (e de necessidade de regulamentação, dada a baixa intensidade envolvida) em torno das frequências audíveis usadas em contextos de bem-estar popular discutidos no Capítulo 9.

CAPÍTULO 7 — Ruído, Poluição Sonora e Saúde Pública

7.1 Perda auditiva induzida por ruído

A exposição prolongada a níveis sonoros elevados é uma das causas mais evitáveis de perda auditiva no mundo. O mecanismo é bem compreendido: exposição excessiva causa dano mecânico e metabólico às células ciliadas da cóclea (ver Capítulo 3), que, ao contrário de muitas outras células do corpo, têm capacidade de regeneração extremamente limitada em mamíferos — o dano é, na prática, cumulativo e majoritariamente irreversível. Organizações de saúde ocupacional recomendam limites de exposição que combinam intensidade (dB) e duração — por exemplo, uma exposição contínua de 85 dB por oito horas diárias é frequentemente citada como limiar de risco significativo, com o tempo de exposição segura reduzindo-se pela metade a cada aumento de 3 dB.

7.2 Estresse crônico, cardiovascular e cognição

Além do dano auditivo direto, a exposição crônica a poluição sonora ambiental (tráfego, aeroportos, ambientes urbanos densos) tem sido associada, em estudos epidemiológicos de larga escala, a elevação do risco cardiovascular — incluindo hipertensão e maior incidência de eventos cardíacos —, provavelmente mediada por ativação crônica do eixo do estresse (elevação de cortisol, ativação simpática sustentada), além de prejuízos documentados em funções cognitivas, particularmente em crianças expostas cronicamente a ruído escolar ou residencial elevado (com efeitos mensuráveis sobre memória e compreensão de leitura).

7.3 Normas e limites regulatórios

A Organização Mundial da Saúde publica diretrizes de exposição sonora ambiental recomendando limites para ruído de tráfego rodoviário, ferroviário, aéreo e eólico, com base em evidência epidemiológica cumulativa sobre desfechos de saúde. Diversos países e municípios adotam legislações específicas de zoneamento sonoro, com limites diferenciados para períodos diurnos e noturnos e para diferentes tipos de zona (residencial, comercial, industrial) — reconhecendo a poluição sonora como um problema de saúde pública legítimo e mensurável, distinto e mais bem estabelecido cientificamente do que as alegações sobre frequências específicas de "cura" discutidas adiante.

CAPÍTULO 8 — Musicoterapia: Ciência e Evidências

8.1 O que a musicoterapia clinicamente comprovada faz

A musicoterapia é uma profissão de saúde reconhecida, praticada por profissionais com formação específica, que utiliza intervenções musicais estruturadas — não frequências isoladas — para atingir objetivos terapêuticos definidos e mensuráveis. É importante diferenciar musicoterapia clínica de práticas informais de "escutar música relaxante": a musicoterapia envolve avaliação individualizada, intervenções ativas (como improvisação musical guiada, canto terapêutico, composição) ou receptivas (audição estruturada), e mensuração de desfechos clínicos específicos.

8.2 Aplicações em reabilitação neurológica, dor e saúde mental

Entre as aplicações com maior corpo de evidência científica destacam-se:

- **Reabilitação de AVC (acidente vascular cerebral)**: técnicas como a Terapia de Entonação Melódica (Melodic Intonation Therapy) demonstraram, em ensaios clínicos, auxiliar pacientes com afasia (dificuldade de linguagem pós-AVC) a recuperar capacidade de fala, aproveitando o fato de que o processamento musical envolve redes neurais parcialmente distintas — e frequentemente mais preservadas — daquelas dedicadas à linguagem falada.
- **Manejo de dor**: música tem demonstrado, em revisões sistemáticas, efeito modesto mas mensurável na redução da percepção de dor e ansiedade pré

e pós-operatória, provavelmente por mecanismos de distração atencional e modulação do sistema de recompensa.
- **Demência e Alzheimer**: intervenções musicais, especialmente envolvendo música pessoalmente significativa para o paciente, têm mostrado benefícios documentados sobre agitação comportamental e, em alguns estudos, engajamento e qualidade de vida — um efeito ligado à preservação relativa de memória musical mesmo em estágios avançados de demência.
- **Saúde mental**: musicoterapia é utilizada como intervenção adjuvante (complementar, não substitutiva) em depressão, ansiedade e transtorno do espectro autista, com corpo de evidência crescente, embora heterogêneo em qualidade metodológica.

8.3 Metodologia e nível de evidência científica

É fundamental, para os propósitos desta obra, destacar que a eficácia da musicoterapia documentada na literatura **não depende de frequências específicas isoladas**, mas de intervenções musicais complexas, estruturadas e individualizadas, aplicadas por profissionais treinados, com desfechos avaliados através de instrumentos clínicos validados e, nos estudos de maior qualidade, comparadas a grupos-controle. Essa é uma diferença metodológica essencial em relação às alegações sobre "frequências de cura" discutidas no próximo capítulo, que tipicamente carecem de ensaios clínicos randomizados e controlados, de mecanismo fisiológico plausível específico à frequência alegada, e de replicação independente.

CAPÍTULO 9 — O Fenômeno "432Hz vs 440Hz" e as Frequências Solfeggio

9.1 Origem histórica da afinação musical (por que 440Hz é padrão)

A "afinação" de um instrumento musical refere-se à frequência atribuída a uma nota de referência — convencionalmente, o Lá central (A4). Historicamente, essa referência variou enormemente entre regiões e épocas — orquestras europeias dos séculos XVIII e XIX usavam afinações que variavam desde cerca de 415 Hz até mais de 450 Hz, sem qualquer padrão unificado. A padronização em **440 Hz** só foi formalmente estabelecida internacionalmente em 1955, pela Organização Internacional de Normalização (ISO 16:1975, reafirmando uma recomendação de 1939), com o objetivo prático de permitir que orquestras, fabricantes de instrumentos e afinadores em todo o mundo trabalhassem com uma referência comum — uma decisão essencialmente **administrativa e prática**, não baseada em qualquer propriedade acústica ou biológica especial do número 440.

9.2 A alegação popular sobre 432Hz: origem e disseminação

A partir sobretudo das últimas duas décadas, difundiu-se amplamente pela internet a alegação de que a afinação em **432 Hz** seria "naturalmente" mais harmoniosa com o corpo humano, com a "frequência do universo", ou mesmo com proporções matemáticas sagradas (como a razão áurea) — alegações frequentemente combinadas com narrativas conspiratórias de que a afinação em 440 Hz teria sido imposta por razões

obscuras (às vezes atribuída, sem qualquer documentação histórica sólida, a governos ou indústrias específicas). É importante que o leitor compreenda: **essas alegações carecem de qualquer base documental histórica ou fundamentação física comprovada**. A escolha de 440 Hz, como descrito acima, tem uma história administrativa bem documentada e mundana, sem qualquer conspiração subjacente demonstrada.

9.3 O que estudos controlados encontraram (ou não encontraram)

Os poucos estudos controlados que compararam diretamente a percepção subjetiva ou fisiológica de música afinada em 432 Hz versus 440 Hz — uma diferença de apenas cerca de 1,9% na frequência, dificilmente perceptível para a maioria dos ouvintes sem comparação direta — não encontraram evidência robusta e replicada de superioridade sistemática de uma afinação sobre a outra em termos de relaxamento, redução de ansiedade ou qualquer outro desfecho fisiológico mensurável. Onde diferenças subjetivas foram relatadas em estudos pequenos, elas são consistentes com efeitos de expectativa (quando o ouvinte sabe qual afinação está ouvindo) mais do que com um efeito fisiológico intrínseco e cego à expectativa.

9.4 Frequências Solfeggio: origem, marketing e ausência de evidência

As chamadas "frequências Solfeggio" — um conjunto específico de valores (frequentemente citados como 174, 285, 396, 417, 528, 639, 741, 852 e 963 Hz), cada um associado por seus proponentes a um efeito específico ("528 Hz, a frequência do amor e da reparação do DNA"; "396 Hz, liberação de medo e culpa") — têm origem alegada em uma reconstrução numerológica moderna (popularizada principalmente a partir da década de 1970 por um autor específico), sem qualquer base historicamente documentada na música litúrgica medieval genuína à qual o nome faz referência. Não existe mecanismo biológico plausível nem estudo controlado, revisado por pares e replicado que sustente as alegações específicas de efeitos terapêuticos atribuídas a cada uma dessas frequências individualmente — incluindo a alegação particularmente popular e biologicamente implausível de que 528 Hz "repara o DNA".

Nota importante sobre honestidade metodológica: esta obra não afirma que ouvir essas frequências seja prejudicial ou que a experiência subjetiva relatada por praticantes seja necessariamente falsa ou insincera. O que se afirma, com base no estado atual da evidência científica, é que **não há demonstração de que o número específico de Hertz alegado seja o mecanismo causal** de qualquer benefício relatado — benefícios que, quando existem, são mais parcimoniosamente explicados por fatores já comprovados: relaxamento associado a qualquer som constante e suave, ritual e atenção plena durante a prática, expectativa e efeito placebo (que é um efeito psicobiológico genuíno, não uma forma de "fingimento").

9.5 Por que essas alegações persistem: psicologia da crença e efeito placebo

Diversos fatores psicológicos bem documentados ajudam a explicar por que crenças sobre frequências específicas se mantêm populares mesmo na ausência de evidência: o **viés de confirmação** (lembrar seletivamente das vezes em que "funcionou"), o

efeito placebo genuíno (expectativas positivas podem gerar alívio subjetivo real de sintomas como dor e ansiedade, através de mecanismos neurobiológicos comprovados, ainda que independentes do mecanismo alegado), a **narrativa de cura simples** (a ideia de uma solução única e acessível é psicologicamente mais atraente que explicações multifatoriais complexas), e o fenômeno de **autoridade emprestada** (números específicos e terminologia com verniz "científico" — Hz, "frequência", "ressonância" — conferem uma sensação de rigor técnico a alegações que, na prática, não foram submetidas ao escrutínio científico que essa linguagem sugere).

9.6 Separando o que é real do que é mito

Quadro-síntese do Capítulo 9

Alegação	Status científico
Música em geral afeta humor e fisiologia	[SIM] Comprovado (Capítulo 4)
Andamento (BPM) lento se associa a relaxamento	[SIM] Comprovado (Capítulo 4)
440 Hz é o padrão internacional por decisão administrativa histórica	[SIM] Documentado
432 Hz é "naturalmente" mais harmonioso com o corpo humano	[NÃO] Sem evidência controlada replicada
Frequências Solfeggio têm origem litúrgica medieval documentada	[NÃO] Não sustentado historicamente
528 Hz "repara o DNA"	[NÃO] Biologicamente implausível, sem evidência
Efeito placebo pode gerar alívio subjetivo real ao ouvir essas frequências	[SIM] Comprovado (mecanismo psicobiológico geral, não específico ao número de Hz)

CAPÍTULO 10 — Terapias Sonoras Alternativas: Análise Crítica

10.1 Tigelas tibetanas, gongos e "banhos de som"

Tigelas tibetanas e gongos produzem sons ricos em harmônicos complexos e batimentos naturais (ver seção 1.7), gerando uma experiência sonora imersiva frequentemente associada a relaxamento profundo em práticas de "banho de som" (sound bath). O relaxamento subjetivo relatado por praticantes é plausível e consistente com mecanismos gerais já comprovados — ambiente ritualizado, atenção focada semelhante à meditação, sons contínuos e previsíveis (que geralmente reduzem a resposta de sobressalto e ativação simpática), e contexto social de grupo. Não há, contudo, evidência de que o metal específico, a forma da tigela, ou qualquer frequência particular emitida tenha um efeito exclusivo não replicável por outras formas de som ambiente relaxante e ritualizado.

10.2 Binaural beats: o que a evidência realmente diz

Batimentos binaurais são um fenômeno **perceptivo real**, gerado quando cada ouvido recebe, através de fones de ouvido, um tom puro de frequência ligeiramente diferente (por exemplo, 200 Hz em um ouvido e 210 Hz no outro); o cérebro percebe um batimento "fantasma" na diferença entre as duas frequências (nesse exemplo, 10 Hz), gerado centralmente no tronco encefálico, não fisicamente presente no ar como onda sonora. Esse fenômeno perceptivo em si é bem documentado e mensurável eletrofisiologicamente.

A alegação popular vai além disso, afirmando que ouvir batimentos binaurais numa frequência correspondente a uma banda de ondas cerebrais específica (delta, theta, alfa, beta, gama) "arrastaria" (entrainment) a atividade elétrica cerebral para aquela mesma frequência, induzindo estados mentais específicos (sono profundo, meditação, foco). A evidência científica para esse **entrainment neural específico e para seus efeitos comportamentais alegados é mista e, no melhor dos casos, modesta** — alguns estudos de EEG encontram sincronização discreta em determinadas condições, mas revisões sistemáticas mais recentes apontam para efeitos pequenos, inconsistentes entre estudos, e frequentemente não superiores a grupos-controle expostos a outros tipos de som relaxante. Não é uma tecnologia sem qualquer respaldo — é uma área de pesquisa legítima, mas com alegações comerciais populares que superam consistentemente o que os dados atuais sustentam.

10.3 Cimática: arte visual real, mas não "cura" — desfazendo a confusão popular

Cimática é o fenômeno físico real, facilmente demonstrável e visualmente impressionante, pelo qual partículas finas (como areia ou pó) espalhadas sobre uma placa vibrante se organizam em padrões geométricos complexos, determinados pela frequência de vibração da placa (os chamados "padrões de Chladni", descritos já no século XVIII por Ernst Chladni). É um fenômeno de física de ondas estacionárias em placas — genuíno, replicável e educativo. **O que não é cientificamente sustentado é a extrapolação popular de que esses padrões visuais demonstrariam que "toda matéria", incluindo água nas células do corpo humano, se reorganiza estruturalmente de forma benéfica sob frequências sonoras específicas** — uma alegação que confunde um fenômeno de física de superfícies vibrantes com processos biológicos celulares completamente distintos, sem qualquer mecanismo demonstrado que conecte as duas coisas.

10.4 Como avaliar criticamente alegações de "cura por frequência"

Ao encontrar qualquer alegação sobre uma frequência específica e seu efeito de "cura", vale perguntar: (1) Existe um mecanismo fisiológico plausível e especificado, ou apenas a palavra "frequência" usada de forma vaga? (2) Há estudos controlados, com grupo-placebo e "cegamento" dos participantes, publicados em periódicos revisados por pares? (3) Os resultados foram replicados de forma independente por outros grupos de pesquisa? (4) A alegação é proporcional à evidência, ou promete efeitos extraordinários (como "reparo de DNA") a partir de evidência inexistente ou

fraca? Este exercício de ceticismo estruturado será formalizado como ferramenta permanente no Capítulo 24.

CAPÍTULO 11 — Guia Prático de Aplicação: Situação por Situação

11.1 Como usar este capítulo

Este capítulo responde diretamente à pergunta prática: "sinto X, o que eu posso ouvir?" Cada seção apresenta duas colunas de informação, sempre claramente identificadas:

- **[EVIDÊNCIA CIENTÍFICA]** — o que estudos controlados de fato sustentam, com o mecanismo fisiológico real explicado (nunca é "a frequência mágica" — é sempre ritmo, contexto, volume, previsibilidade sonora, ou associação pessoal).
- **[TRADIÇÃO / CRENÇA POPULAR]** — o que praticantes de frequências Solfeggio, 432Hz e práticas correlatas alegam para essa situação específica, apresentado como informação cultural e de crença, não como fato demonstrado. Você pode escolher experimentar essas práticas — muitas pessoas relatam benefício subjetivo real via efeito placebo, ritual e relaxamento geral — desde que compreenda que o "porquê" alegado (o número específico de Hz) não tem base comprovada.

Use a coluna verde quando quiser uma abordagem com o máximo de respaldo científico. Use a coluna amarela sabendo que está engajando com uma prática tradicional/cultural, não com um tratamento clinicamente validado — o que não invalida seu valor como ritual pessoal de bem-estar, mas muda o que você deve *esperar* dela.

11.2 Ansiedade e pensamentos acelerados/negativos

[EVIDÊNCIA] Sons contínuos, previsíveis e de baixa frequência relativa (ruído rosa/marrom, sons da natureza como chuva ou ondas do mar) reduzem mensuravelmente a ativação do sistema nervoso simpático em diversos estudos. Música com andamento lento (60-80 BPM) e ausência de mudanças dinâmicas abruptas favorece a redução do cortisol salivar. O mecanismo real: previsibilidade sonora reduz a resposta de vigilância do sistema nervoso; ritmo lento favorece entrainment da respiração e frequência cardíaca (ver 4.4).

[TRADIÇÃO] Praticantes das frequências Solfeggio associam **396 Hz** à "liberação de medo e culpa" e **174 Hz** ao "alívio da dor e tensão". Não há mecanismo comprovado específico a esses números; o benefício relatado, quando presente, é mais bem explicado pelo relaxamento geral induzido por qualquer som contínuo suave nesse contexto ritualizado.

11.3 Insônia e dificuldade para dormir

[EVIDÊNCIA] Ruído branco e ruído rosa têm o corpo de evidência mais sólido entre todas as intervenções sonoras deste capítulo, atuando primariamente por mascaramento de ruídos ambientais imprevisíveis (a principal causa de despertares noturnos).

Evidência preliminar (ainda em desenvolvimento) sugere possível papel do ruído rosa na potencialização de ondas lentas do sono profundo.

[TRADIÇÃO] Alegações sobre batimentos binaurais na faixa delta (0,5-4 Hz de diferença entre os ouvidos) como indutores diretos de sono profundo têm evidência mista — ver 10.2. Pode gerar relaxamento via ritual e expectativa, mas não deve substituir higiene do sono comprovada (regularidade de horário, ambiente escuro, redução de telas).

11.4 Falta de foco e concentração

[EVIDÊNCIA] O chamado "efeito Mozart" — popularizado por um estudo de 1993 que sugeriu ganhos temporários em tarefas espaciais após ouvir uma sonata de Mozart — foi amplamente superestimado pela mídia; replicações mostraram que o efeito, quando presente, é pequeno, temporário (minutos), e não específico a Mozart — provavelmente reflete apenas um efeito geral de excitação/humor (qualquer estímulo prazeroso que eleve o alerta cognitivo produz ganho semelhante). Música instrumental sem letra e ruído branco/rosa em volume moderado têm evidência mais consistente para reduzir distração em ambientes de trabalho ruidosos, por mascaramento de conversas e ruídos inteligíveis (que são mais disruptivos à cognição que ruído não-inteligível).

[TRADIÇÃO] Alegações sobre binaural beats na faixa beta (13-30 Hz) ou gama (>30 Hz) para "aumento de foco" seguem o mesmo padrão de evidência mista descrito em 10.2.

11.5 Estresse crônico e regulação do sistema nervoso

[EVIDÊNCIA] Técnicas de entrainment respiratório guiado por som (sons ou sinos marcando um ritmo de respiração lenta, tipicamente 5-6 respirações por minuto) têm evidência robusta de ativação do sistema nervoso parassimpático e aumento da variabilidade da frequência cardíaca — um dos achados mais bem replicados desta obra inteira. O mecanismo é comportamental e respiratório, não depende de nenhuma frequência tonal específica.

[TRADIÇÃO] "417 Hz para facilitar mudança e liberar trauma" é uma alegação Solfeggio sem mecanismo demonstrado; sinos e gongos tradicionais usados para marcar ritmo de respiração em práticas contemplativas, por outro lado, podem produzir o benefício real descrito na coluna verde — não pela frequência do instrumento, mas por estarem sendo usados, na prática, como marcadores rítmicos de respiração lenta.

11.6 Tristeza, luto e estados emocionais baixos

[EVIDÊNCIA] A musicoterapia clínica (Capítulo 8) demonstra benefício real no processamento de luto e tristeza, mas por meio de intervenções estruturadas e frequentemente através de música pessoalmente significativa — não de uma frequência isolada. Música associada a memórias autobiográficas específicas ativa redes de memória e recompensa de forma mais robusta que qualquer tom puro.

[TRADIÇÃO] “528 Hz, a frequência do amor”, é a mais popular e mais biologicamente implausível das alegações Solfeggio (ver 9.4); não há razão para esperar que um tom puro nessa frequência específica processe luto melhor que qualquer outra música calma e significativa para a pessoa.

11.7 Raiva e irritabilidade

[EVIDÊNCIA] Estudos sobre regulação emocional aguda sugerem que música de andamento lento e baixa dissonância harmônica auxilia na redução de ativação fisiológica associada à raiva, embora o efeito seja modesto e dependa fortemente de preferência musical individual — impor um estilo musical não preferido pode, inclusive, aumentar irritação.

[TRADIÇÃO] Não há uma frequência Solfeggio consistentemente associada à raiva nas fontes populares; alegações nessa área são particularmente pouco padronizadas mesmo dentro da própria tradição.

11.8 Meditação e estados contemplativos

[EVIDÊNCIA] Sinos e gongos usados ritualmente em práticas contemplativas (como no início e fim de sessões de meditação budista) têm papel comprovadamente funcional como **âncoras atencionais** — marcam transições, ajudam a redirecionar a atenção quando ela se dispersa, e criam associação condicionada (ao longo da prática repetida) entre aquele som e um estado mental contemplativo. Esse é um mecanismo comportamental de condicionamento clássico bem estabelecido, funcionando independentemente da frequência tonal específica do instrumento.

[TRADIÇÃO] Práticas tibetanas atribuem às tigelas cantantes propriedades de “elevação vibracional” e equilíbrio de “chakras” associados a frequências específicas — um sistema de crença tradicional sem correlato demonstrado em fisiologia ou anatomia ocidental validada, mas com valor ritual e cultural genuíno para praticantes.

11.9 Tabela-resumo final

Situação	Abordagem com evidência (mecanismo real)	Abordagem tradicional (crença popular)	Confiança científica
Ansiedade	Ruído rosa/natureza, música lenta (60-80 BPM)	396Hz, 174Hz Solfeggio	Alta (evidência) / Baixa (tradição)
Insônia	Ruído branco/rosa (mascaramento)	Binaural beats delta	Alta (evidência) / Mista (tradição)
Foco	Instrumental sem letra, ruído mascarando fala	Binaural beats beta/gama	Moderada (evidência) / Mista (tradição)

Situação	Abordagem com evidência (mecanismo real)	Abordagem tradicional (crença popular)	Confiança científica
Estresse crônico	Som guiando respiração lenta (5-6 rpm)	417Hz Solfeggio	Alta (evidência) / Baixa (tradição)
Tristeza/luto	Musicoterapia, música autobiográfica	528Hz “do amor”	Alta (evidência) / Muito baixa (tradição)
Raiva	Música lenta, baixa dissonância, preferida	Sem consenso popular	Moderada (evidência)
Meditação	Sino/gongo como âncora atencional condicionada	“Frequências dos chakras”	Alta (mecanismo comportamental) / Baixa (tradição)

Conclusão prática do capítulo: se seu objetivo é o resultado mais confiável possível, priorize sempre a coluna verde — ela funciona por mecanismos comprovados e replicáveis (ritmo, previsibilidade, mascaramento, condicionamento, associação pessoal), e não depende de acreditar em nada. Se você já pratica ou sente atração pelas práticas da coluna amarela, pode seguir com elas com tranquilidade — o relaxamento ritualizado tem valor real — mas agora você sabe, com honestidade, que o benefício vem do ritual e da expectativa, não do número de Hertz específico.

PARTE III — SOM NO REINO ANIMAL

CAPÍTULO 12 — Bioacústica: Fundamentos

12.1 Por que diferentes espécies ouvem diferentes faixas

A faixa de frequências que um animal percebe é moldada por pressões evolutivas específicas ao seu nicho ecológico: tamanho corporal (animais menores tendem a ouvir frequências mais altas, relacionado ao tamanho físico de suas estruturas auditivas), meio de vida (aquático vs. terrestre vs. aéreo), necessidades de comunicação (curta ou longa distância), e estratégias de detecção de predadores ou presas. Não existe uma faixa auditiva “superior” na natureza — cada faixa é uma solução evolutiva otimizada para as necessidades específicas daquela espécie.

12.2 Evolução dos sistemas auditivos

Sistemas auditivos evoluíram de forma independente múltiplas vezes ao longo da história da vida (evolução convergente), a partir de estruturas mecanorreceptoras

mais simples. Em vertebrados terrestres, o ouvido médio evoluiu a partir de ossos da mandíbula de répteis ancestrais — um dos exemplos mais bem documentados de exaptação evolutiva (reaproveitamento de uma estrutura para uma função completamente nova) na história da biologia evolutiva, confirmado tanto pelo registro fóssil quanto pela embriologia comparada.

12.3 Comunicação sonora como estratégia evolutiva

O som oferece vantagens evolutivas específicas como canal de comunicação: viaja em torno de obstáculos (ao contrário de sinais visuais, que exigem linha de visão direta), funciona na escuridão, pode transmitir informação a longas distâncias com relativamente baixo custo energético (especialmente em baixas frequências), e permite codificação complexa de informação (identidade individual, estado emocional, localização, alerta de predador) através de variações de frequência, ritmo e padrão temporal.

CAPÍTULO 13 — Mamíferos

13.1 Cães e gatos: faixa auditiva e comportamento

Cães percebem frequências entre aproximadamter 40 Hz e 60.000 Hz — uma faixa superior significativamente mais ampla que a humana, o que explica sua resposta a apitos "silenciosos" (ultrassônicos) usados em treinamento, que emitem tipicamente entre 23.000 e 54.000 Hz, inaudíveis para humanos mas claramente perceptíveis para cães. Gatos têm faixa ainda mais ampla, com limite superior estimado em torno de 64.000-85.000 Hz, provavelmente relacionado à necessidade evolutiva de detectar as vocalizações ultrassônicas de roedores presa.

13.2 Elefantes e comunicação infrassônica de longa distância

Elefantes produzem e percebem vocalizações infrassônicas (abaixo de 20 Hz, frequentemente na faixa de 14-35 Hz) capazes de viajar vários quilômetros através do solo e do ar em condições atmosféricas favoráveis, permitindo comunicação entre grupos familiares separados por grandes distâncias — incluindo, segundo pesquisa de campo consolidada, sinalização de alarme, coordenação reprodutiva e provavelmente reconhecimento individual de vocalizações. Elefantes também demonstram capacidade documentada de detectar vibrações sísmicas transmitidas pelo solo através de mecanorrecepção nas patas e na tromba.

13.3 Morcegos: ecolocalização e ultrassom

A maioria das espécies de morcegos utiliza ecolocalização — emissão de pulsos ultrassônicos (tipicamente entre 20 e 200 kHz, variando por espécie) e análise do eco retornado para navegação e caça em completa escuridão. A precisão desse sistema é notável: morcegos conseguem discriminar diferenças de tempo de eco da ordem de microssegundos, permitindo detectar insetos em voo e diferenciar texturas e formas de obstáculos com grande precisão espacial, um sistema sensorial cuja sofisticação inspirou diretamente o desenvolvimento de tecnologias de sonar e radar.

13.4 Cetáceos: baleias, golfinhos e comunicação subaquática

Cetáceos exibem uma das faixas de comunicação sonora mais amplas e complexas do reino animal. Baleias-azuis produzem algumas das vocalizações de maior intensidade sonora conhecidas na natureza, em frequências muito graves (na casa de dezenas de Hz), capazes de viajar centenas ou, segundo algumas estimativas, milhares de quilômetros através do oceano profundo em condições favoráveis de propagação (aproveitando o chamado canal SOFAR, uma camada oceânica que favorece a propagação sonora de longa distância). Golfinhos, por outro lado, utilizam ecolocalização ultrassônica de alta frequência (até 150 kHz) de forma análoga aos morcegos, além de um repertório complexo de assobios usados em comunicação social, incluindo o fenômeno bem documentado dos "assobios-assinatura" — vocalizações individualizadas e estáveis ao longo da vida que funcionam de forma análoga a um nome próprio entre golfinhos.

13.5 Efeitos do ruído antrópico em mamíferos marinhos e terrestres

A poluição sonora gerada por atividade humana — tráfego de embarcações, sonares militares, prospecção sísmica de petróleo, construção offshore — é reconhecida pela comunidade científica como uma ameaça significativa e crescente a mamíferos marinhos, interferindo em sua capacidade de comunicação, navegação e detecção de predadores/presas, e sendo associada, em casos documentados, a eventos de encalhe em massa de cetáceos, particularmente relacionados a sonares militares de média frequência.

CAPÍTULO 14 — Aves

14.1 Faixa auditiva e produção de canto

Aves geralmente percebem frequências em faixa similar à humana (aproximadamente 1-8 kHz de maior sensibilidade), mas com resolução temporal notavelmente superior — capazes de distinguir detalhes temporais em seu próprio canto que soam, para o ouvido humano não treinado, como um único som contínuo. O canto é produzido pela **siringe**, órgão vocal exclusivo das aves (distinto da laringe de mamíferos), localizado na junção da traqueia com os brônquios, permitindo a algumas espécies produzir dois sons simultâneos e independentes.

14.2 Função do canto: território, acasalamento, alarme

O canto de aves cumpre múltiplas funções ecológicas bem documentadas: defesa de território (canto como sinalização de ocupação, reduzindo confrontos físicos custosos), atração de parceiros reprodutivos (com complexidade e repertório de canto frequentemente correlacionados a qualidade e sucesso reprodutivo do macho em diversas espécies estudadas), e alarme (vocalizações específicas de alerta a predadores, com estudos mostrando que algumas espécies possuem chamados diferenciados conforme o tipo de predador — aéreo versus terrestre).

14.3 Efeitos da poluição sonora urbana no comportamento das aves

Estudos em bioacústica urbana documentaram que diversas espécies de aves ajustam a frequência e o volume de seu canto em ambientes urbanos ruidosos — tipicamente cantando em frequências mais agudas para evitar sobreposição com o ruído de tráfego de baixa frequência, fenômeno bem documentado em populações urbanas de diversas espécies ao redor do mundo. Esse ajuste, embora demonstre adaptabilidade comportamental notável, tem sido associado em alguns estudos a potenciais custos reprodutivos, quando as mudanças no canto afetam sua atratividade para parceiros.

CAPÍTULO 15 — Répteis e Anfíbios

15.1 Percepção vibracional em répteis

Répteis, de modo geral, têm audição menos especializada que mamíferos e aves, com faixas de frequência mais limitadas e frequentemente voltadas mais à detecção de vibração de baixa frequência transmitida pelo substrato do que a sons aéreos de alta frequência. Serpentes, notavelmente desprovidas de ouvido externo e médio no sentido convencional, são particularmente sensíveis a vibrações do solo, detectadas através da mandíbula em contato com o substrato — um sistema de "audição óssea" bem documentado.

15.2 Vocalização em anfíbios: rãs e sapos como bioindicadores sonoros

Rãs e sapos machos produzem vocalizações de acasalamento altamente espécie-específicas, permitindo que fêmeas reconheçam e localizem parceiros da própria espécie mesmo em ambientes com múltiplas espécies vocalizando simultaneamente (fenômeno de partição acústica de nicho). Por sua sensibilidade a mudanças ambientais e sua dependência de comunicação sonora bem-sucedida para reprodução, comunidades de anfíbios são amplamente utilizadas como **bioindicadores** em programas de monitoramento acústico de saúde ambiental — mudanças em padrões de coro de anfíbios frequentemente sinalizam alterações ecológicas relevantes antes de outros indicadores mais custosos de medir.

CAPÍTULO 16 — Peixes

16.1 Como peixes percebem som debaixo d'água

Peixes percebem som através de múltiplos sistemas sensoriais complementares, adaptados às propriedades físicas distintas da propagação sonora em água (ver Tabela 1.2, Capítulo 1): o ouvido interno (estruturalmente presente, embora sem ouvido externo ou médio equivalente ao de mamíferos) e a linha lateral, um sistema sensorial exclusivo de peixes e alguns anfíbios aquáticos.

16.2 A linha lateral e a bexiga natatória

A **linha lateral** é um sistema de órgãos mecanorreceptores dispostos ao longo do corpo do peixe, capaz de detectar variações de pressão e movimento da água a curta distância — essencial para percepção de correntes, cardumes próximos e movimento de predadores/presas. A **bexiga natatória**, órgão primariamente associado à flutuabilidade, também atua em muitas espécies como amplificador acústico, transmitindo vibração para o ouvido interno de forma mais eficiente do que ocorreria sem essa estrutura preenchida de gás — um exemplo notável de múltipla função evolutiva de um mesmo órgão.

16.3 Impactos de ruído de embarcações e sonares

Ruído antrópico subaquático — tráfego de embarcações, sonares, construção offshore, prospecção sísmica — tem sido associado em pesquisa recente a alterações comportamentais mensuráveis em peixes, incluindo mudanças em padrões de forrageamento, aumento de estresse fisiológico (elevação de cortisol) e, em casos de exposição intensa e próxima, dano direto a estruturas sensoriais auditivas, sendo uma área de crescente preocupação em biologia da conservação marinha.

CAPÍTULO 17 — Insetos e Invertebrados

17.1 Comunicação por vibração em insetos

Uma parcela substancial da comunicação entre insetos ocorre não por som transmitido pelo ar, mas por **vibração transmitida através de substratos sólidos** (plantas, solo) — um canal de comunicação frequentemente subestimado na cultura popular, mas extremamente disseminado e bem documentado cientificamente, com pesquisa crescente revelando sua importância em espécies antes consideradas “silenciosas”.

17.2 Grilos, cigarras e a produção sonora

Grilos produzem som através de **estridulação** — o atrito entre estruturas especializadas em suas asas anteriores — em frequências e padrões espécie-específicos usados primariamente para atração de parceiras e defesa territorial. Cigarras machos produzem alguns dos sons mais intensos do reino dos insetos através de órgãos especializados chamados timbales, membranas que vibram rapidamente impulsionadas por músculos dedicados, atingindo, em algumas espécies, intensidades sonoras comparáveis a máquinas industriais em relação ao tamanho do animal.

17.3 Abelhas: vibração, dança e comunicação

Abelhas melíferas utilizam um sistema de comunicação notavelmente sofisticado que combina vibração e movimento: a chamada “dança das abelhas” (waggle dance), decifrada pelo etólogo Karl von Frisch (trabalho que lhe rendeu o Prêmio Nobel em 1973), codifica direção e distância de fontes de alimento através de padrões de movimento acompanhados de vibrações de asa em frequências específicas, que outras op-

erárias detectam através de mecanorrecepção nas antenas. Abelhas também utilizam vibração corporal direta para comunicação de curto alcance dentro da colmeia, incluindo sinais de alerta e regulação de atividades coletivas.

17.4 Aranhas e a percepção de vibrações na teia

Aranhas que constroem teias utilizam a própria estrutura da teia como uma extensão sensorial altamente especializada, detectando através de mecanorreceptores nas patas vibrações finas transmitidas pelos fios de seda — permitindo distinguir com precisão notável entre a vibração de uma presa capturada, o vento, ou a aproximação de um predador ou parceiro reprodutivo, com pesquisa recente sugerindo que algumas espécies utilizam a teia quase como um instrumento acústico externo ao próprio corpo.

CAPÍTULO 18 — Uso e Manejo de Som com Animais

18.1 Repelentes ultrassônicos: o que funciona de fato

Diversos produtos comerciais são vendidos com a alegação de repelir pragas (roedores, insetos) através de emissão ultrassônica. A evidência científica sobre a eficácia desses dispositivos é, de forma geral, **fraca e inconsistente** — revisões e testes independentes frequentemente não encontram redução significativa e sustentada de infestação em condições reais, provavelmente porque animais se habituam rapidamente a um estímulo constante e não associado a ameaça real (um fenômeno de habituação comportamental bem documentado). Isso contrasta com dispositivos direcionados e cientificamente validados, como apitos ultrassônicos específicos para treinamento canino, cuja eficácia depende de condicionamento comportamental ativo, não de repulsão passiva automática.

18.2 Impactos do ruído humano na fauna selvagem

Além dos impactos específicos já discutidos em mamíferos marinhos, aves e peixes, o ruído antrópico terrestre (tráfego rodoviário, atividade industrial, urbanização) tem sido associado, em síntese de pesquisa ecológica crescente, a alterações mensuráveis em distribuição espacial de fauna, sucesso reprodutivo e níveis de estresse fisiológico em diversos táxons, consolidando a poluição sonora como uma dimensão relevante e ainda subestimada de impacto ambiental antropogênico.

18.3 Bioacústica aplicada à conservação

A bioacústica tornou-se ferramenta central de conservação e monitoramento ambiental moderno: gravadores acústicos autônomos de longo prazo permitem monitorar biodiversidade (incluindo espécies raras, noturnas ou de difícil observação visual direta) através de suas vocalizações características, com auxílio crescente de algoritmos de aprendizado de máquina para identificação automatizada de espécies em grandes volumes de gravação — uma das fronteiras de pesquisa retomadas no Capítulo 25.

PARTE IV — SOM NO REINO PLANTAE

CAPÍTULO 19 — Plantas Têm "Audição"? O Que a Ciência Diz

19.1 Mecanorrecepção vegetal: como plantas sentem vibração

Plantas não possuem sistema nervoso, cérebro ou órgãos auditivos no sentido em que animais os possuem, mas possuem, comprovadamente, **mecanorreceptores celulares** — proteínas de membrana sensíveis a deformação mecânica — capazes de detectar toque, vento, e, com pesquisa crescente e legítima nas últimas duas décadas, vibração mecânica incluindo ondas sonoras. Esse campo de pesquisa, às vezes chamado de fitoacústica, é uma área ativa e relativamente jovem da biologia vegetal, distinta e mais rigorosa do que boa parte do que circula popularmente sobre "plantas e música".

19.2 Estudos sobre resposta a frequências sonoras específicas

Pesquisas publicadas em periódicos revisados por pares documentaram respostas mensuráveis de plantas a determinados estímulos vibracionais/sonoros: um estudo amplamente citado (Appel & Cocroft, 2014) demonstrou que plantas de *Arabidopsis thaliana* expostas a gravações da vibração específica produzida pela mastigação de lagartas aumentavam a produção de compostos químicos de defesa (glucosinolatos), enquanto vibrações de controle (vento, canto de insetos não predadores) não produziam o mesmo efeito — evidência de que plantas conseguem discriminar entre tipos específicos de vibração, não apenas detectar vibração de forma genérica. Outros estudos documentaram alterações em taxas de crescimento radicular em resposta a certas faixas de frequência sonora, embora os mecanismos completos e a robustez de replicação dessas descobertas específicas ainda estejam em consolidação na literatura científica.

19.3 O mito popular de "plantas gostam de música clássica" — evidência real vs. anedota

A crença popular amplamente disseminada de que tocar música clássica (frequentemente citando especificamente Mozart) para plantas acelera seu crescimento, em contraste com música "agressiva" que as prejudicaria, **não tem respaldo em estudos metodologicamente robustos e replicados**. Os estudos frequentemente citados na cultura popular para sustentar essa alegação (incluindo trabalhos amplamente divulgados desde a década de 1970) sofrem de problemas metodológicos significativos — amostras pequenas, ausência de controles adequados, e falta de replicação independente por outros laboratórios. Isso não invalida a pesquisa legítima sobre mecanorrecepção vegetal (seção 19.2) — que é real e rigorosa — mas separa claramente essa pesquisa da narrativa popular simplificada sobre "plantas apreciando" gêneros musicais humanos, um conceito antropomórfico que carece de sentido biológico literal (plantas não têm preferência estética consciente).

19.4 Vibrações de insetos polinizadores e resposta em néctar

Uma linha de pesquisa particularmente bem estabelecida e fascinante envolve a resposta de algumas plantas a vibrações específicas de asas de polinizadores: um estudo notável (Veits et al., 2019, em *Ecology Letters*) documentou que flores de prímula-da-tarde (*Oenothera drummondii*), ao detectarem vibrações no padrão de frequência similar ao zumbido de abelhas polinizadoras próximas, aumentavam a concentração de açúcar em seu néctar em poucos minutos — um exemplo genuíno, replicado e mecanisticamente investigado de resposta vegetal discriminativa a vibração acústica específica, com plausível vantagem evolutiva direta (tornar a flor mais atrativa exatamente quando um polinizador está por perto).

19.5 Bioacústica vegetal: pesquisa emergente e suas limitações metodológicas

É importante que o leitor compreenda o estado atual deste campo com precisão: a fitoacústica é uma área de pesquisa científica **legítima e ativa**, com achados reais e mecanisticamente investigados (seções 19.2 e 19.4), mas ainda relativamente jovem, com muitas questões em aberto sobre a generalização desses achados entre espécies, os limites da discriminação vibracional vegetal, e os mecanismos moleculares completos envolvidos. Isso a diferencia claramente das alegações populares mais amplamente disseminadas (seção 19.3) e de produtos comerciais que extrapolam essa pesquisa legítima para promessas de eficácia agrícola não comprovada, tema do próximo capítulo.

CAPÍTULO 20 — Aplicações Agrícolas do Som

20.1 Sonic bloom e tecnologias de “estímulo sonoro” — análise crítica

Produtos e técnicas comercializados sob nomes como “sonic bloom”, que alegam aumentar significativamente a produtividade agrícola através da exposição de plantações a frequências sonoras específicas, carecem, até o momento, de evidência robusta e independentemente replicada em ensaios agronômicos controlados de campo em larga escala que sustente os ganhos de produtividade dramáticos frequentemente anunciados comercialmente. Isso não significa que toda influência sonora sobre plantas seja fictícia (ver Capítulo 19) — significa que as alegações comerciais específicas superam consideravelmente o que a pesquisa controlada atual demonstra.

20.2 Uso de ultrassom em germinação de sementes

Existe um corpo de pesquisa mais consolidado, embora ainda em desenvolvimento, sobre o uso de tratamento por ultrassom (frequências muito acima do som audível, medidas em kHz-MHz) para potencialmente melhorar taxas de germinação de sementes de algumas espécies, através de mecanismos físicos relativamente bem compreendidos, como o aumento de permeabilidade do tegumento da semente à água (facilitando a embebição inicial necessária à germinação). Os resultados variam significativamente conforme espécie, intensidade e duração do tratamento, e essa é uma área ativa de

pesquisa em ciência agrícola aplicada, distinta das alegações mais vagas e comercialmente exageradas sobre “frequências de crescimento”.

20.3 Ceticismo científico necessário nesta área de pesquisa

A área de bioacústica vegetal aplicada à agricultura é particularmente vulnerável a alegações comerciais que ultrapassam a evidência disponível, dado o interesse econômico envolvido e a dificuldade do público leigo em avaliar tecnicamente afirmações sobre “frequências”. O leitor interessado em aplicações agrícolas reais deve buscar especificamente ensaios de campo controlados, replicados por grupos de pesquisa independentes, e publicados em periódicos agronômicos revisados por pares — os mesmos critérios de avaliação crítica formalizados no Capítulo 24.

PARTE V — SOM EM FUNGOS, MICRO-ORGANISMOS E OUTROS REINOS

CAPÍTULO 21 — Fungos e Vibração

21.1 O que se sabe sobre sensibilidade fúngica a estímulos mecânicos

O reino Fungi é, de longe, o menos estudado desta obra em termos de resposta a estímulos vibracionais/sonoros — um campo de pesquisa genuinamente incipiente. Sabe-se que fungos filamentosos possuem mecanismos de mecanorrecepção celular (relacionados à percepção de pressão e tensão na parede celular durante o crescimento hifal), e há pesquisa preliminar explorando se e como vibrações mecânicas externas podem influenciar padrões de crescimento e ramificação de hifas — mas esse corpo de evidência é significativamente menor, mais recente e menos consolidado do que o já discutido para plantas no Capítulo 19.

21.2 Pesquisas iniciais e o quanto ainda é especulativo

Alguns estudos preliminares relataram efeitos mensuráveis de determinados padrões vibracionais sobre taxas de crescimento e esporulação em certas espécies de fungos cultivados em laboratório, mas essa literatura ainda carece do volume de replicação independente, da diversidade de espécies testadas e da clareza mecanística que caracterizam campos mais maduros como a bioacústica animal. É cientificamente honesto afirmar que **este é, hoje, o campo mais especulativo e menos consolidado entre todos discutidos nesta obra**, e alegações populares sobre “fungos que respondem à música” devem ser tratadas com cautela redobrada, dado o volume desproporcionalmente pequeno de pesquisa rigorosa disponível em relação à quantidade de afirmações que circulam informalmente.

21.3 Diferenciando pesquisa científica preliminar de alegações pseudocientíficas virais

Como em outros capítulos desta obra, a regra de ouro permanece: pesquisa preliminar legítima existe e deve ser valorizada como ponto de partida para investigação futura, mas não deve ser confundida com alegações definitivas de causa e efeito amplamente divulgadas em vídeos e artigos populares sem citação de fonte primária revisada por pares — um problema particularmente agudo neste campo específico, dada a escassez real de estudos robustos disponíveis para verificação.

CAPÍTULO 22 — Bactérias e Micro-organismos

22.1 Efeitos de ultrassom em membranas bacterianas

Ao contrário do capítulo anterior, aqui existe uma aplicação **bem estabelecida e amplamente utilizada**: o ultrassom de alta intensidade (sonicação) é rotineiramente empregado em laboratórios de microbiologia e em processos industriais de esterilização e processamento de alimentos para romper membranas celulares bacterianas através de um fenômeno físico chamado **cavitação acústica** — a formação e o colapso violento de microbolhas induzidas pela onda sonora de alta intensidade, gerando forças mecânicas e picos localizados de temperatura suficientes para lisar (romper) células bacterianas. Esse mecanismo físico é bem compreendido, quantificável e amplamente aplicado, sendo a base de equipamentos de sonicação padrão em laboratórios de pesquisa e de processos industriais de pasteurização ultrassônica.

22.2 Alegações sobre "frequências que matam bactérias" — o que é validado clinicamente

É importante distinguir a aplicação laboratorial e industrial validada (seção 22.1), que exige intensidades de energia muito elevadas e equipamento especializado de sonicação, das alegações populares — frequentemente encontradas em contextos de bem-estar alternativo — de que ouvir determinadas frequências sonoras audíveis em volume normal (através de alto-falantes comuns) teria efeito bactericida ou antimicrobiano significativo no corpo humano. **Não há evidência de que isso ocorra**: as intensidades de energia envolvidas em música ou tons audíveis em volume seguro para audição humana são ordens de grandeza inferiores às necessárias para cavitação acústica eficaz, tornando essa alegação popular fisicamente implausível dado o mecanismo real e bem compreendido descrito acima.

PARTE VI — SÍNTESE, ÉTICA E FRONTEIRAS

CAPÍTULO 23 — Comparando Reinos: Um Panorama Evolutivo da Sensibilidade ao Som

23.1 Tabela comparativa de faixas auditivas/sensoriais entre táxons

Tabela 23.1 — Faixas de percepção sonora/vibracional aproximadas por grupo (valores de referência, com variação considerável entre espécies dentro de cada grupo)

Grupo	Faixa aproximada de percepção	Modalidade principal
Humanos	20 Hz – 20 kHz	Audição aérea (cóclea)
Cães	40 Hz – 60 kHz	Audição aérea
Gatos	45 Hz – 64-85 kHz	Audição aérea
Elefantes	~1 Hz – 20 kHz (ênfase em infrassom)	Audição aérea + vibração no solo
Morcegos (ecolocalizadores)	1 kHz – 200 kHz	Audição aérea (ultrassom)
Golfinhos	75 Hz – 150 kHz	Audição subaquática
Baleias-azuis	~10 Hz – 40 Hz (vocalização)	Audição subaquática de longuíssimo alcance
Aves (geral)	1 kHz – 8-10 kHz (maior sensibilidade)	Audição aérea, alta resolução temporal
Peixes	~20 Hz – 3 kHz (varia muito)	Ouvido interno + linha lateral
Insetos (grilos, cigarras)	Espécie-específico, geralmente kHz	Órgãos timpânicos + vibração substrato
Aranhas	Não-tonal (vibração de banda larga)	Mecanorrecepção em teia/patas
Plantas	Resposta discriminativa a certas vibrações (não “audição” no sentido tradicional)	Mecanorrecepção celular
Fungos	Pesquisa muito preliminar	Mecanorrecepção celular (hipotética/emergente)

23.2 Convergências e divergências evolutivas

Um padrão evolutivo notável emerge desta obra: a capacidade de detectar vibração mecânica é praticamente universal na árvore da vida — presente, em alguma forma, desde bactérias (mecanorrecepção de membrana) até os mamíferos com audição mais sofisticada — mas a evolução de sistemas *auditivos* especializados, capazes de discriminar frequência com precisão e à distância através do ar ou da água, ocorreu de forma repetida e independente (evolução convergente) em múltiplas linhagens distintas de animais, cada uma otimizada para pressões ecológicas específicas — comunicação social, detecção de predadores, navegação por ecolocalização, ou percepção de presas. Essa diversidade é um dos exemplos mais ricos, em toda a biologia, de como um

mesmo desafio físico (detectar vibração mecânica no ambiente) pode gerar soluções evolutivas radicalmente diferentes.

CAPÍTULO 24 — Como Avaliar Criticamente Alegações sobre "Frequências"

24.1 Sinais de alerta de pseudociência

Ao longo desta obra, um padrão recorrente de sinais de alerta ajudou a distinguir ciência estabelecida de alegações não sustentadas. Vale sistematizá-los como ferramenta permanente:

- **Especificidade numérica sem mecanismo**: uma alegação cita um número exato de Hz associado a um efeito específico, mas não explica *por meio de qual mecanismo fisiológico* aquele número exato — e não um número próximo — produziria o efeito alegado.
- **Ausência de grupo-controle e cegamento**: estudos citados (quando existem) não comparam o efeito alegado contra uma condição-controle equivalente, nem controlam a expectativa do participante.
- **Ausência de replicação independente**: um único estudo, especialmente pequeno ou não publicado em periódico revisado por pares, é citado repetidamente sem confirmação por grupos de pesquisa independentes.
- **Linguagem científica emprestada de forma imprecisa**: termos como "ressonância", "vibração", "quântico" e "frequência" são usados de forma vaga, sem definição operacional clara ou mensurável.
- **Promessa desproporcional à evidência**: a alegação promete efeitos extraordinários e amplos (cura de doenças complexas, reparo de DNA) a partir de uma intervenção simples e de baixo custo.
- **Narrativa de conspiração**: a alegação inclui uma explicação de por que "eles" (governos, indústrias) escondem ou suprimem a verdade — um padrão retórico recorrente em pseudociência de diversas áreas, não apenas em frequências sonoras.

24.2 Como ler um estudo científico sobre bioacústica

Para o leitor que deseja ir além desta obra e avaliar estudos primários por conta própria, alguns critérios práticos: verifique se o estudo foi publicado em periódico com revisão por pares reconhecida na área; observe o tamanho da amostra e se há grupo-controle adequado; note se os autores declaram conflitos de interesse comerciais; busque se o achado foi replicado por outros grupos de pesquisa independentes; e desconfie de resumos (abstracts) que fazem alegações mais fortes do que os próprios dados do estudo sustentam — uma discrepância surpreendentemente comum mesmo em ciência legítima, e ainda mais frequente em estudos de qualidade metodológica inferior.

24.3 Por que extraordinary claims requerem extraordinary evidence

O princípio, popularizado pelo astrônomo Carl Sagan mas com raízes filosóficas mais antigas (associadas a David Hume), de que "alegações extraordinárias exigem evidências extraordinárias" é particularmente aplicável ao tema desta obra: alegações que contrariam mecanismos físicos e biológicos bem estabelecidos (como "uma frequência sonora audível repara DNA" ou "reorganiza a estrutura molecular da água nas células do corpo") exigem um padrão de evidência proporcionalmente mais rigoroso do que alegações consistentes com o conhecimento científico já consolidado (como "música relaxante reduz frequência cardíaca"). Esse não é um padrão duplo injusto — é o reconhecimento de que, quanto mais uma alegação contraria o que já sabemos com alta confiança sobre como o mundo físico e biológico funciona, maior a probabilidade de erro experimental, viés ou má interpretação antes de aceitarmos que descobrimos algo genuinamente novo.

CAPÍTULO 25 — Fronteiras da Pesquisa Atual

25.1 Bioacústica computacional e IA

Uma das fronteiras mais ativas da bioacústica moderna é a aplicação de aprendizado de máquina e redes neurais profundas para análise automatizada de grandes volumes de gravação acústica ambiental — permitindo identificação automática de espécies, detecção de mudanças em padrões de biodiversidade ao longo do tempo, e até, em pesquisa ainda inicial e ambiciosa, tentativas de identificar estrutura combinatória em vocalizações complexas de espécies como golfinhos e alguns primatas, buscando entender se e como sistemas de comunicação animal compartilham propriedades estruturais com a linguagem humana — uma questão científica genuinamente em aberto e ativamente debatida.

25.2 Novas descobertas em comunicação interespécie

Pesquisa recente continua expandindo a compreensão de canais de comunicação sonora e vibracional antes desconhecidos ou subestimados — incluindo evidência crescente de comunicação vibracional entre plantas e insetos herbívoros/polinizadores (ver Capítulo 19), e refinamento contínuo da compreensão sobre a complexidade de repertórios vocais em cetáceos e elefantes. Esse é um campo em que novas descobertas legítimas continuam emergindo em ritmo acelerado, tornando essencial que o leitor interessado continue consultando fontes atualizadas e revisadas por pares além desta obra.

25.3 Perguntas em aberto

Entre as questões genuinamente não resolvidas na fronteira da pesquisa em bioacústica e fitoacústica destacam-se: até que ponto a discriminação vibracional observada em plantas (Capítulo 19) envolve algum grau de processamento de informação comparável, ainda que remotamente, a sistemas nervosos simples, ou se é inteiramente explicável por vias bioquímicas mais simples e diretas; qual é a extensão real e os

limites da mecanorrecepção fúngica (Capítulo 21), campo que carece drasticamente de mais pesquisa rigorosa; e como o crescente corpo de evidência sobre os impactos negativos da poluição sonora antropogênica em ecossistemas marinhos e terrestres (Capítulos 13, 16 e 18) deve informar políticas de regulamentação ambiental futuras — uma questão tanto científica quanto de política pública, na fronteira entre esta obra e as decisões concretas de sociedades inteiras sobre como habitar o planeta de forma acusticamente mais responsável.

GLOSSÁRIO

Amplitude — magnitude da variação de pressão sonora em relação à pressão ambiente; correlato físico do volume percebido.

Batimento (beating) — flutuação periódica de volume percebida quando duas frequências sonoras próximas se sobrepõem.

Batimentos binaurais (binaural beats) — batimento percebido centralmente no cérebro quando cada ouvido recebe, via fone de ouvido, um tom de frequência ligeiramente diferente.

Bioacústica — campo científico que estuda a produção, propagação e percepção de som por organismos vivos.

Cavitação acústica — formação e colapso violento de microbolhas induzido por ondas sonoras de alta intensidade, usado em sonicação laboratorial e industrial.

Cimática — fenômeno físico pelo qual partículas sobre uma superfície vibrante se organizam em padrões geométricos determinados pela frequência de vibração.

Cóclea — estrutura espiral do ouvido interno responsável pela transdução mecanoelétrica do som.

Decibel (dB) — unidade logarítmica de medida de intensidade sonora.

Ecolocalização — sistema de navegação/caça baseado na emissão de sons e análise do eco retornado, usado por morcegos e cetáceos, entre outros.

Entrainment — sincronização de ritmos fisiológicos internos (cardíaco, respiratório) a um estímulo rítmico externo.

Estridulação — produção de som por atrito entre estruturas corporais especializadas, comum em insetos como grilos.

Fitoacústica — campo de pesquisa emergente que estuda a resposta de plantas a estímulos sonoros/vibracionais.

Frequência — número de ciclos de onda por segundo, medido em Hertz (Hz); correlato físico da altura sonora percebida.

Frequências Solfeggio — conjunto de frequências (ex.: 396, 528, 852 Hz) associadas por tradição popular moderna a efeitos terapêuticos específicos, sem respaldo científico robusto.

Hertz (Hz) — unidade de frequência, equivalente a um ciclo por segundo.

Infrassom — frequências sonoras abaixo de 20 Hz, geralmente inaudíveis para humanos.

Linha lateral — sistema sensorial de peixes capaz de detectar variações de pressão e movimento da água.

Mecanorrecepção — capacidade celular de detectar e responder a estímulos mecânicos, como pressão, toque ou vibração.

Musicoterapia — profissão de saúde que utiliza intervenções musicais estruturadas para objetivos terapêuticos definidos.

Ondas estacionárias — padrão de vibração formado por ondas de mesma frequência viajando em direções opostas em espaço confinado.

Presbiacusia — perda gradual, relacionada à idade, da capacidade de perceber frequências sonoras agudas.

Ressonância — fenômeno pelo qual um objeto vibra com amplitude amplificada quando excitado próximo à sua frequência natural.

Siringe — órgão vocal exclusivo das aves, análogo funcional à laringe dos mamíferos.

Tonotopia — mapeamento espacial ordenado de frequências ao longo da membrana basilar da cóclea e das vias auditivas centrais.

Ultrassom — frequências sonoras acima de 20 kHz, inaudíveis para humanos.

REFERÊNCIAS E LEITURAS RECOMENDADAS

Obras fundamentais de acústica e psicoacústica - Helmholtz, H. von. *On the Sensations of Tone as a Physiological Basis for the Theory of Music.* - Moore, B. C. J. *An Introduction to the Psychology of Hearing.* - Rossing, T. D. *The Science of Sound.*

Bioacústica e comunicação animal - Bradbury, J. W. & Vehrencamp, S. L. *Principles of Animal Communication.* - Payne, K. *Silent Thunder: In the Presence of Elephants* (comunicação infrassônica de elefantes). - Au, W. W. L. *The Sonar of Dolphins.*

Fitoacústica e mecanorrecepção vegetal - Appel, H. M. & Cocroft, R. B. (2014). "Plants respond to leaf vibrations caused by insect herbivore chewing." *Oecologia.* - Veits, M. et al. (2019). "Flowers respond to pollinator sound within minutes by increasing nectar sugar concentration." *Ecology Letters.*

Neurociência da música e emoção - Zatorre, R. J. & Salimpoor, V. N. — pesquisas sobre dopamina e prazer musical, Universidade McGill. - Sacks, O. *Musicophilia: Tales of Music and the Brain.*

Avaliação crítica de alegações pseudocientíficas - Sagan, C. *The Demon-Haunted World: Science as a Candle in the Dark.* - Novella, S. et al. *The Skeptics' Guide to*

the Universe (recursos e metodologia de pensamento crítico aplicável a alegações de saúde).

Diretrizes de saúde pública - Organização Mundial da Saúde — *Environmental Noise Guidelines for the European Region* e documentos correlatos sobre exposição sonora e saúde.

Nota: esta obra recomenda que o leitor interessado em aprofundamento busque diretamente os artigos originais em bases como PubMed, Google Scholar e periódicos especializados (Journal of the Acoustical Society of America, Bioacoustics, Ecology Letters, entre outros) para acesso às versões mais atualizadas e completas da pesquisa citada.

ÍNDICE REMISSIVO

A Abelhas, 17.3 · Afinação musical, 9.1-9.2 · Amplitude, 1.2 · Ansiedade, 11.2 · Aranhas, 17.4 · Aves, Cap. 14

B Bactérias, Cap. 22 · Batimentos, 1.7 · Batimentos binaurais, 10.2, 11.3-11.4 · Bexiga natatória, 16.2 · Bioacústica, Cap. 12, 18.3, 25.1

C Cavitação acústica, 22.1 · Cetáceos, 13.4 · Cimática, 10.3 · Cóclea, 3.2 · Cortisol, 4.2, 7.2

D Decibel, 1.5 · DNA (alegação de “reparo”), 9.4, 22.2

E Ecolocalização, 13.3-13.4 · Efeito Mozart, 11.4 · Efeito placebo, 9.5 · Elefantes, 13.2 · Entrainment, 4.4, 11.5

F Fitoacústica, Cap. 19 · Fungos, Cap. 21

G Golfinhos, 13.4 · Gongos, 10.1, 11.8

I Infrassom, Cap. 5, 13.2 · Insetos, Cap. 17

M Mecanorrecepção, 19.1, 21.1 · Morcegos, 13.3 · Musicoterapia, Cap. 8

O Ondas estacionárias, 1.7 · Ouvido humano, Cap. 3

P Peixes, Cap. 16 · Plantas, Cap. 19-20 · Presbiacusia, 3.3 · Pseudociência (avaliação crítica), Cap. 24

R Repelentes ultrassônicos, 18.1 · Ressonância, 1.6 · Ruído branco/rosa/marrom, 4.5, 11.2-11.3 · Ruído (poluição sonora), Cap. 7, 13.5, 16.3, 18.2

S Sono, 4.5, 11.3 · Solfeggio (frequências), 9.4, Cap. 11 · Som (definição física), 1.1

T Tigelas tibetanas, 10.1, 11.8 · Timbre, 1.2 · Tonotopia, 3.2

U Ultrassom, Cap. 6, 13.3-13.4, 20.2, 22.1

432 Hz, 9.2-9.3, 9.6 **440 Hz**, 9.1